

Dynamic VAR Support 기능 적용에 따른 계통 전압 안정도 분석

김지안, 홍진욱, 박기우, 강호현, 김희중
LS 일렉트릭

Analysis of Grid Voltage Stability with Application of Dynamic VAR Support Function

Jian Kim, Jinwook Hong, Kiwoo Park, Hohyun Kang, Heejung Kim
LS ELECTRIC

ABSTRACT

본 논문에서는 자사의 계통 연계형 인버터의 전력계통 해석 모델을 구현하고, 시뮬레이션을 통해 각 제어 전략에 따른 전압 안정도 분석을 수행한다. 저전압 방지를 위한 계통 협조를 위한 제어로는 VRT 및 Dynamic VAR Support 기능을 적용한다. 이때, 결과 분석을 위한 시뮬레이션은 DigSilent PowerFactory 환경에서 수행하며, 각 제어 기능들은 UDM을 통해 직접 설계한 모델을 사용한다.

1. 서론

최근 증가하는 분산에너지자원(태양광, 풍력, ESS 등)의 계통 연계는 전력 계통에 다양한 영향을 미치고 있다. 특히 계통 고장 시 발생하는 과전압 및 저전압 문제는 최악의 경우 연계 인버터의 연쇄적인 탈락으로 인해 정전이 광역으로 과급되는 등 심각한 문제를 야기할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 한국전력공사를 포함한 각 지역에서는 계통 유지 기능(FRT)을 의무화하기 시작했다.[1] 또한 전력계통 해석 모델 개발을 통해 계통에서 일어날 수 있는 다양한 상황을 모의하여 영향을 분석한 후, 실제 계통에 연계하는 사례가 증가하고 있다.

본 논문에서는 계통 해석 소프트웨어에서 LVRT 및 Dynamic VAR Support 기능을 포함한 스마트 인버터 모델을 구현하고, 계통 고장 발생 시 각 제어에 따른 전압 변동을 분석한다.

2. Grid Support Control

2.1 VRT(Voltage Ride-Through)

계통에 연결된 분산전원의 수가 많아질수록 전압강하 문제는 더욱 심각해진다. 특히 계통에 고장이 발생하는 경우 급격한 전압 변동으로 인해 분산전원이 탈락될 수 있으며, 발전 전력 감소로 인해 계통에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 분산전원이 이를 해결할 수 있는 방안을 갖추는 것이 권장된다.

이에 따라 PCC(Point of Common Coupling)지점에서의 저전압 혹은 과전압이 발생하더라도 전압강하 및 전압강하 지속 시간에 따라 분산전원이 계통과의 연계를 유지하여 운전하도록 요구된다. 이러한 제어 기능을 Voltage Ride-Through(VRT)라고 하며 분산전원 시스템의 안정성 보장을 위한 핵심 요소로

작용한다. 이때 VRT는 저전압에 대한 제어인 LVRT, 고전압에 대한 제어인 HVRT 영역으로 나뉜다. 그림 1은 VRT 개념도의 예시를 나타내며, 인증 시험 및 국가별 다양한 grid code 기준이 존재한다. 본 논문에서는 IEEE Std 1547-2020 규정에 명시된 기준에 따라 시뮬레이션을 수행한다.

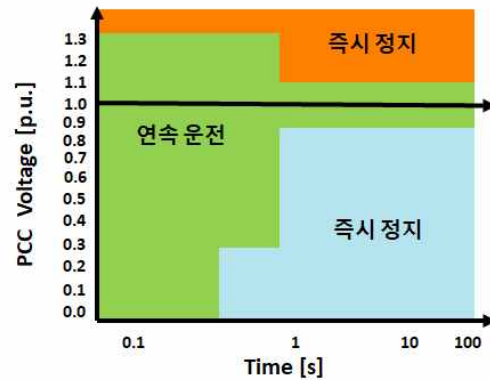


그림 1 Voltage Ride-Through 개념도 예시
Fig. 1 Example of Voltage Ride-Through concept diagram

2.2 Dynamic VAR Support

LVRT 제어로 인해 분산전원이 탈락되지 않을 경우 분산전원 PCC 전압이 낮아짐에 따라 순간적인 계통이 불안정이 발생한다. 이러한 전압 변동이 발생할 경우, 무효전류 제어를 통해 전압 회복이 가능하다.

저전압의 경우 PCS(Power Conditioning System)가 무효전류 공급을 통해 전압 회복에 기여하며, 고전압의 경우 무효전류를 흡수하여 전압 회복에 기여한다.

현재 IEEE STD 1547 기준에는 명확한 dynamic voltage support 동작이 정의되어있지 않으며, 이에 따라 독일의 E. on grid code 규정을 적용하였다. 해당 규정은 식 (1),(2)를 따르며, V_g, I_{rated}, I_q^* 는 각각 계통 전압, 정격전류, 무효전류 reference 지령 값을 의미한다.

$$I_q^* = 2(1 - V_g)I_{rated} \quad ; \quad 0.5 < V_g < 0.9 \quad (1)$$

$$I_q^* = I_{rated} \quad ; \quad V_g < 0.5 \quad (2)$$

이때, 최대 무효전류 값은 정격으로 제한하며, 본 논문에서는 LVRT 상황에서 무효전류 주입에 따른 효과를 확인한다.

3. 사례연구

Dynamic Var Support 제어에 따른 계통 전압 안정도 분석을 수행하기 위해 DigSilent사의 PowerFactory 환경에서 계통 연계형 인버터의 전력계통 해석 모델을 설계하였으며, VRT 및 Dynamic Var Support 기능 구현을 위하여 UDM(User Define Model)을 통해 직접 설계하였다.

시뮬레이션을 위한 PCS 정격 및 고장 모의 조건은 표 1과 같으며, fault는 10초에 발생하도록 설정한다. 또한 PCS 운전모드는 P/Q 제어 방식을 적용하며, P_{ref} 0.5MW, Q_{ref} 는 0MVar로 설정한다.

표 1 시뮬레이션 셋팅 파라미터
Table 1 Simulation setting parameters

| PCS setting | | simulation fault setting | |
|-------------|---------------|--------------------------|-----------------------|
| P_{max} | 3.2MW | fault_type | 3-phase Short-circuit |
| V_{ac} | $690 V_{ac}$ | fault_impedance | 0.05 ohm |
| V_{dc} | $1500 V_{dc}$ | fault_duration time | 1.0 sec |

3.1 Dynamic VAR Support 미적용 시

그림 2는 LVRT 상황에서 Dynamic VAR Support 제어를 적용시키지 않은 경우의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 2 전압 그래프의 점선은 IEEE 1547 규정에 따른 LVRT 및 HVRT 영역을 의미한다. 표 1과 같은 고장 상황 모의 시, 정의된 전압강하 범위 및 지속시간을 초과하는 전압 변동이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이때, LVRT 동작에 따라 PCS는 계통으로부터 탈락하며, 계통의 전압은 1.6 p.u., 계통 주파수는 1.2p.u. 까지 상승하는 결과를 야기한다.

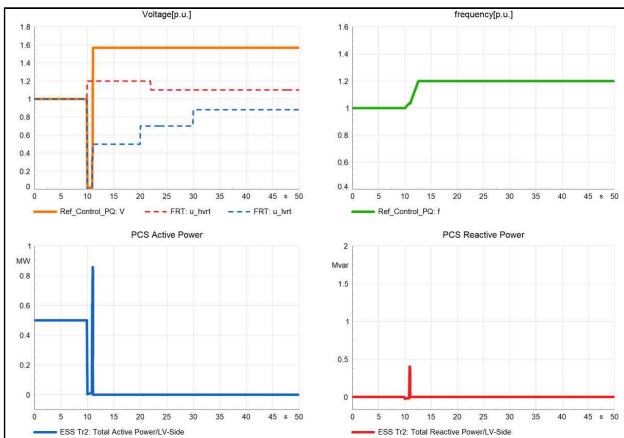


그림 2 Dynamic Var Support 미적용 시 시뮬레이션 결과
Fig. 2 Simulation results when Dynamic Var Support is not applied (LVRT case)

3.2 Dynamic VAR Support 적용 시

그림 3은 LVRT 상황에서 Dynamic VAR Support 제어를 적용시킨 경우의 시뮬레이션 결과를 나타내며, 이때 시뮬레이션에 있어 고장 조건은 3.1절과 동일하게 설정하였다. 그림 2의 경우 전압 변동으로 인해 PCS가 탈락하는 결과를 볼 수 있었

다. 반면 그림 3의 경우 제어가 수행됨에 따라 전압 변동에 대응하여 PCS가 무효전력을 출력하는 것을 확인할 수 있으며, 이 때 주입하는 무효전류의 크기는 식(2)에 따라 1p.u. 이다.

PCS가 순간적으로 무효전력을 주입함으로써 LVRT 영역 내로 전압이 유지되며, PCS가 계통으로부터 탈락하지 않고 계통 연계를 유지하는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 전압 및 주파수가 일정 시간 이내 정상상태로 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.

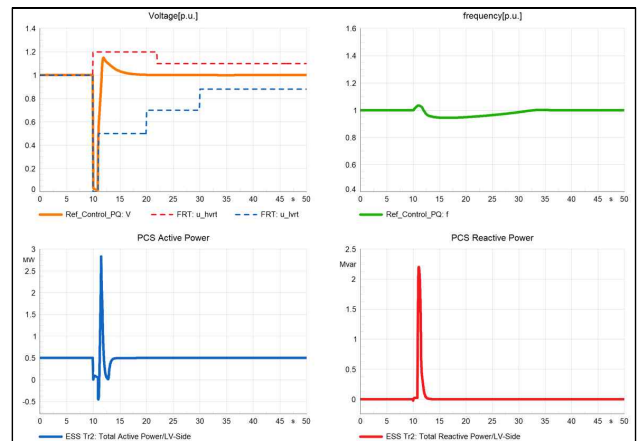


그림 3 Dynamic Var Support 적용 시 시뮬레이션 결과
Fig. 3 Simulation results when Dynamic Var Support is applied (LVRT case)

3.1 및 3.2절에서 수행한 시뮬레이션 결과에 따라, Dynamic VAR Support 제어 전략이 그리드에 연계된 재생 에너지 시스템의 안정성 및 신뢰성을 향상시키는 데 중요한 역할을 할 수 있음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 계통에서의 고장 발생 시, PCS가 전압 상황에 따라 스스로 안정적인 계통 공급을 지원하기 위한 두가지 제어 전략을 구현하며, 각 제어 전략 적용에 따른 계통 전압 안정도를 분석한다. 제어에 따른 전압 변동을 분석하기 위해 DigSilent PowerFactory 소프트웨어를 이용하여 PCS 모델 및 각 제어 전략을 구현하고 사례연구를 수행하였다. 시뮬레이션 결과 LVRT 제어만을 사용할 경우 계통 고장 시 계통으로부터 PCS가 탈락하여 과도 상태가 지속되었다. 반면 Dynamic VAR Support 제어를 함께 사용하는 경우 PCS가 전압 변동에 따라 무효전류를 제어함으로써 전압을 안정적으로 유지하는 결과를 확인하였다.

참고 문헌

[1] Hyun-Woo Kang, "A Study on Fault Analysis during Low Voltage Ride Through Operation in Large-scale PV System", the Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 73, no. 2, pp. 419~426, 2024